

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6096547号
(P6096547)

(45) 発行日 平成29年3月15日(2017.3.15)

(24) 登録日 平成29年2月24日(2017.2.24)

(51) Int.Cl.		F I	
H01L 21/205	(2006.01)	H01L 21/205	
H01L 21/31	(2006.01)	H01L 21/31	C
C23C 16/455	(2006.01)	C23C 16/455	
H05H 1/46	(2006.01)	H05H 1/46	B

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2013-58663 (P2013-58663)	(73) 特許権者	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(22) 出願日	平成25年3月21日(2013.3.21)	(74) 代理人	100096389 弁理士 金本 哲男
(65) 公開番号	特開2014-183297 (P2014-183297A)	(74) 代理人	100095957 弁理士 亀谷 美明
(43) 公開日	平成26年9月29日(2014.9.29)	(74) 代理人	100101557 弁理士 萩原 康司
審査請求日	平成28年1月27日(2016.1.27)	(74) 代理人	100167634 弁理士 扇田 尚紀
		(72) 発明者	河西 繁 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びシャワープレート

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマ処理が行われる処理容器と、処理容器内に第1のガスと第2のガスを供給するシャワープレートを備えたプラズマ発生用アンテナを有し、マイクロ波の供給により前記シャワープレート表面に形成された表面波によりプラズマを形成して基板を処理するプラズマ処理装置であって、

前記シャワープレートには、処理容器内に第1のガスを供給する複数のガス孔と、当該複数のガス孔と異なる位置に、前記シャワープレートの下面から鉛直下方に突出し前記処理容器内に第2のガスを供給する複数の供給ノズルと、が形成され、

前記供給ノズルの前記シャワープレートの下端面から前記供給ノズルの下端までの距離は、供給されるマイクロ波の波長の1/16~3/16の長さであることを特徴とする、 プラズマ処理装置。

【請求項2】

前記第2のガスは、前記第1のガスよりも、プラズマにより分解されやすいガスであることを特徴とする、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】

前記第2のガスは原料ガスであり、前記第1のガスはプラズマ発生用のガスであることを特徴とする、請求項2に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】

前記シャワープレートの下面には、下方向に突出する垂下部が形成され、

前記垂下部には、所定のパターンで上方に窪んだ窪み部が形成され、
前記供給ノズルは、前記窪み部に設けられていることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記ガス孔と、前記供給ノズルは、平面視において等間隔に配置されていることを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記供給ノズルは、前記シャワープレートの中央部を除いた領域に設けられていることを特徴とする、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

前記ガス孔から供給される前記第 1 のガスの流速、又は前記供給ノズルから供給される第 2 のガスの流速は、前記各ガス孔または前記各供給ノズルごとに異なることを特徴とする、請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】

プラズマ処理が行われるプラズマ処理装置の処理容器内に第 1 のガスと第 2 のガスを供給するシャワープレートであって、

処理容器内に第 1 のガスを供給する複数のガス孔と、当該複数のガス孔と異なる位置に、前記シャワープレートの下面から鉛直下方に突出し前記処理容器内に第 2 のガスを供給する複数の供給ノズルと、が形成され、

前記供給ノズルの前記シャワープレートの下端面から前記供給ノズルの下端までの距離は、供給されるマイクロ波の波長の $1/16 \sim 3/16$ の長さであることを特徴とする、シャワープレート。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理装置及びプラズマ処理装置で用いるシャワープレートに関する。特に、シャワープレートの構造及びこれを用いたプラズマ処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

プラズマ処理は、半導体デバイスの製造に不可欠な技術である。近年、LSI の高集積化及び高速化の要請から、LSI を構成する半導体素子の更なる微細加工が求められている。

【0003】

ところが、容量結合型プラズマ処理装置や誘導結合型プラズマ処理装置では、生成されるプラズマの電子温度が高く、かつプラズマ密度の高い領域が限定される。このため、半導体素子の更なる微細加工の要請に応じたプラズマ処理を実現することは難しかった。

【0004】

したがって、このような微細加工を実現するためには、低電子温度かつ高プラズマ密度のプラズマを生成することが必要となる。これに応じるために、マイクロ波により処理容器内で表面波プラズマを生成し、これにより半導体ウェハをプラズマ処理する装置が提案されている（例えば、特許文献 1）。

【0005】

特許文献 1 では、マイクロ波を同軸管に伝送させて処理容器内に放射し、マイクロ波の表面波が持つ電界エネルギーによってガスを励起させることにより、低電子温度で高プラズマ密度の表面波プラズマを発生させるプラズマ処理装置が提案されている。

【0006】

しかしながら、特許文献 1 のプラズマ処理装置では、マイクロ波を同軸管から処理容器内に放射するために、その天井部は、表面波プラズマとアンテナとの間を石英等の誘電体板で挟んだ構造となっており、処理ガスは処理容器の側壁から処理容器内に供給される構造となっていた。このように、ガスを天井部以外から供給していたため、ガスの流れを制

10

20

30

40

50

御することができず、良好なプラズマ制御が難しかった。

【0007】

そこで、引用文献2では、アンテナの下に多数のガス放出孔を有する誘電体からなるシャワープレートを設け、このシャワープレートを介して処理ガスを鉛直下方に処理容器内に導入する技術が提案されている。これにより、処理容器内に鉛直方向のガス流を形成して処理ガスを均一に供給し、均一なプラズマが形成される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2003-188103号公報

10

【特許文献2】特開2005-196994号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

ところで、本発明者らによれば、例えば引用文献2のようなアンテナ及びシャワープレートを有するプラズマ処理装置においては、シャワープレートの孔の内部に成膜してしまうことが確認された。そして、成膜するとシャワープレートの孔を塞ぐおそれがある。

【0010】

これは、表面波プラズマにより、シャワープレート近傍の領域における電子温度がシャワープレートの表面から離れた位置より高くなることが原因で、例えばモノシラン(SiH₄)ガスなどの原料ガスがシャワープレート近傍で過剰に分解され、その結果、シャワープレートの孔部分に成膜堆積したり、気相反応したりしてごみの原因となる。

20

【0011】

そこで本発明者らは、シャワープレートから供給される原料ガスを、このシャワープレート近傍の領域における電子温度が高い領域を通過させることなく処理容器内に到達させることができれば、シャワープレート近傍での成膜、気相成長を抑制できると考えた。

【0012】

本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、処理容器内にガスを導入するシャワープレートを有し、マイクロ波により表面波プラズマを発生させるプラズマ処理装置において、シャワープレートのガス孔に成膜することを抑制することを目的としている。

30

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記目的を達成するため、本発明は、プラズマ処理が行われる処理容器と、処理容器内に第1のガスと第2のガスを供給するシャワープレートを備えたプラズマ発生用アンテナを有し、マイクロ波の供給により前記シャワープレート表面に形成された表面波によりプラズマを形成して基板を処理するプラズマ処理装置であって、前記シャワープレートには、処理容器内に第1のガスを供給する複数のガス孔と、当該複数のガス孔と異なる位置に、前記シャワープレートの下面から鉛直下方に突出し前記処理容器内に第2のガスを供給する複数の供給ノズルと、が形成され、前記供給ノズルの前記シャワープレートの下端面から前記供給ノズルの下端までの距離は、供給されるマイクロ波の波長の $1/16 \sim 3/16$ の長さであることを特徴としている。

40

【0014】

本発明によれば、シャワープレートの下面から鉛直下方に突出した供給ノズルにより処理容器内に第2のガスを供給するので、この第2のガスがシャワープレート近傍の領域における電子温度が高い領域を通過することがない。したがって、例えば第2のガスとして原料ガスを用いても、当該原料ガスが表面波プラズマにより過剰に分解されることを避けることができる。その結果、シャワープレートのガス孔への反応生成と気相反応による堆積物を抑制することができる。

【0015】

前記第2のガスは、前記第1のガスよりも、プラズマにより分解されやすいガスであっ

50

てもよい。かかる場合、前記第 2 のガスは原料ガスであり、前記第 1 のガスはプラズマ発生用のガスであってもよい。

【0016】

前記シャワープレートの下面には、下方方向に突出する垂下部が形成され、前記垂下部には、所定のパターンで上方に窪んだ窪み部が形成され、前記供給ノズルは、前記窪み部に設けられていてもよい。

【0017】

前記ガス孔と、前記供給ノズルは、平面視において等間隔に配置されていてもよい。

【0019】

前記供給ノズルは、前記シャワープレートの中央部を除いた領域に設けられていてもよい。

10

【0020】

前記ガス孔から供給される前記第 1 のガスの流速、又は前記供給ノズルから供給される第 2 のガスの流速は、前記各ガス孔または前記各供給ノズルごとに異なってもよい。

【0021】

また、別の観点による本発明は、プラズマ処理が行われるプラズマ処理装置の処理容器内に第 1 のガスと第 2 のガスを供給するシャワープレートであって、処理容器内に第 1 のガスを供給する複数のガス孔と、当該複数のガス孔と異なる位置に、前記シャワープレートの下面から鉛直下方に突出し前記処理容器内に第 2 のガスを供給する複数の供給ノズルと、が形成され、前記供給ノズルの前記シャワープレートの下端面から前記供給ノズルの下端までの距離は、供給されるマイクロ波の波長の $1/16 \sim 3/16$ の長さであることを特徴としている。

20

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、処理容器内にガスを導入するシャワープレートを有し、マイクロ波により表面波プラズマを発生させるプラズマ処理装置において、シャワープレートのガス孔への反応生成と気相反応による堆積物を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図 1】本実施の形態にかかるプラズマ処理装置の構成の概略を示す縦断面図である。

30

【図 2】マイクロ波の出力側の機構を示した図である。

【図 3】マイクロ波伝送機構の構成を模式的に示す平面図である。

【図 4】マイクロ波導入機構近傍の構成の概略を示す拡大縦断面図である。

【図 5】シャワープレートの下面図である。

【図 6】他の実施の形態にかかるシャワープレートの下面図である。

【図 7】垂下部を有する下部プレートの構成の一例を示す斜視図である。

【図 8】他の実施の形態にかかる下部プレートの構成の一例を示す斜視図である。

【図 9】他の実施の形態にかかる下部プレートの構成の一例を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

40

以下に添付図面を参照しながら、本発明の実施形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【0025】

まず、本実施の形態に係るプラズマ処理装置の全体構成について、図 1 を参照しながら説明する。図 1 は、プラズマ処理装置 1 を概略的に示した縦断面図である。

【0026】

本実施形態では、半導体ウェハ W (以下、ウェハ W と称呼する。) にプラズマ処理として成膜処理を施す CVD 装置を例に挙げてプラズマ処理装置 1 を説明する。プラズマ処理装置 1 は、気密に保持された内部にてウェハ W をプラズマ処理する処理容器 10 を有する

50

。処理容器 10 は上面が開口した略円筒状で、たとえばアルミニウム等の金属から形成され、接地されている。

【0027】

処理容器 10 の底部には、ウェハ W を載置するサセプタ 11 が設けられている。サセプタ 11 は、アルミニウム等の金属から形成されていて、絶縁体 12 a を介して支持部材 12 により支持され、処理容器 10 の底部に設置されている。これにより、サセプタ 11 は、電氣的に浮いた状態になっている。サセプタ 11 及び支持部材 12 の材料としては、表面をアルマイト処理（陽極酸化処理）したアルミニウム等が挙げられる。

【0028】

サセプタ 11 には、整合器 13 を介してバイアス用の高周波電源 14 が接続されている。高周波電源 14 は、サセプタ 11 にバイアス用の高周波電力を印加する、これにより、ウェハ W 側にプラズマ中のイオンが引き込まれる。なお、図示していないが、サセプタ 11 には、ウェハ W を静電吸着するための静電チャック、温度制御機構、ウェハ W の裏面に熱伝達用のガスを供給するためのガス流路、ウェハ W を搬送する際に昇降する昇降ピン等が設けられてもよい。

【0029】

処理容器 10 の底部には排気口 15 が設けられ、排気口 15 には真空ポンプを含む排気装置 16 が接続されている。排気装置 16 を作動させると、処理容器 10 の内部が排気され、処理容器 10 内が所望の真空度まで減圧される。また、処理容器 10 の側壁には、搬入出口 17 が形成され、搬入出口 17 を開閉可能なゲートバルブ 18 の開閉により、ウェハ W が搬入出される。

【0030】

サセプタ 11 の上方には、処理容器 10 内にガスを供給しつつ、マイクロ波の供給が可能なプラズマ発生用アンテナ 20（以下、アンテナ 20 と称呼する）が装着されている。アンテナ 20 は、処理容器 10 上部の開口を塞ぐように設けられている。これにより、サセプタ 11 とアンテナ 20 との間にプラズマ空間 U が形成される。アンテナ 20 の上部には、マイクロ波を伝送するマイクロ波伝送機構 30 が連結され、マイクロ波出力部 40 から出力されたマイクロ波をアンテナ 20 に伝えるようになっている。

【0031】

プラズマ処理装置 1 には、図 1 に示すように制御部 500 が設けられている。制御部 500 は、例えばコンピュータであり、プログラム格納部（図示せず）を有している。プログラム格納部には、プラズマ処理装置 1 におけるウェハ W の処理を制御するプログラムが格納されている。なお、前記プログラムは、例えばコンピュータ読み取り可能なハードディスク（HD）、フレキシブルディスク（FD）、コンパクトディスク（CD）、マグネットオプティカルディスク（MO）、メモリーカードなどのコンピュータに読み取り可能な記憶媒体に記録されていたものであって、その記憶媒体から制御部 500 にインストールされたものであってもよい。

【0032】

次に、図 2 を参照しながら、マイクロ波出力部 40 及びマイクロ波伝送機構 30 の構成について説明する。

【0033】

マイクロ波出力部 40 は、マイクロ波用電源 41、マイクロ波発振器 42、アンプ 43 及び増幅されたマイクロ波を複数に分配する分配器 44 を有している。マイクロ波用電源 41 は、マイクロ波発振器 42 に対して電力を供給する。マイクロ波発振器 42 は、例えば、860 MHz の所定周波数のマイクロ波を PLL 発振させる。アンプ 43 は、発振されたマイクロ波を増幅する。分配器 44 は、マイクロ波の損失ができるだけ起こらないように、入力側と出力側のインピーダンス整合を取りながら、アンプ 43 で増幅されたマイクロ波を分配する。

【0034】

マイクロ波伝送機構 30 は、分配器 44 で分配されたマイクロ波を処理容器内へ導く複

10

20

30

40

50

数のアンテナモジュール50とマイクロ波導入機構51とを有している。なお、図2では、マイクロ波伝送機構30が2つのアンテナモジュール50と2つのマイクロ波導入機構51を備えている状態を模式的に描図しているが、本実施の形態では、例えば図3に示すように、マイクロ波伝送機構30はアンテナモジュール50を例えば7個有しており、6個のアンテナモジュール50が同一円周状に、その中心に1個のアンテナモジュール50がアンテナ20の上部に配置されている。

【0035】

アンテナモジュール50は、位相器52、可変ゲインアンプ53、メインアンプ54及びアイソレータ55を有していて、マイクロ波出力部40から出力されたマイクロ波をマイクロ波導入機構51に伝送する。

10

【0036】

位相器52は、マイクロ波の位相を変化させるように構成され、これを調整することによりマイクロ波の放射特性を変調させることができる。これによれば、指向性を制御してプラズマ分布を変化させることができる。なお、このような放射特性の変調が不要な場合には位相器52は設ける必要はない。

【0037】

可変ゲインアンプ53は、メインアンプ54へ入力するマイクロ波の電力レベルを調整し、プラズマ強度の調整を行う。メインアンプ54は、ソリッドステートアンプを構成する。ソリッドステートアンプは、図示していない入力整合回路、半導体増幅素子、出力整合回路及び高Q共振回路を有する構成とすることができる。

20

【0038】

アイソレータ55は、アンテナ20で反射してメインアンプ54に戻るマイクロ波の反射波を分離するものであり、サーキュレータとダミーロード(同軸終端器)とを有している。サーキュレータは、アンテナ20で反射したマイクロ波をダミーロードへ導き、ダミーロードは、サーキュレータによって導かれたマイクロ波の反射波を熱に変換する。

【0039】

次に、マイクロ波導入機構51及びプラズマ発生用アンテナ20の構成について図4を参照しながら説明する。図4は、本実施の形態に係るマイクロ波導入機構51及びアンテナ20の例えば左半分の構成の概略を拡大して示した縦断面図である。

【0040】

マイクロ波導入機構51は、同軸管60及び遅波板70を有している。同軸管60は、筒状の外部導体60a及びその中心に設けられた棒状の内部導体60bからなる同軸状の導波管を有している。同軸管60の下端には、遅波板70を介してアンテナ20が設けられている。同軸管60は、内部導体60bが給電側、外部導体60aが接地側になっている。同軸管60には、チューナ80が設けられている。チューナ80は、例えば2つのスラグ80aを有し、スラグチューナを構成している。スラグ80aは誘電部材の板状体として構成されており、同軸管60の内部導体60bと外部導体60aとの間に円環状に設けられている。チューナ80は、後述する制御部500からの指令に基づき、図示しない駆動機構によりスラグ80aを上下動させることにより、同軸管60のインピーダンスを調整するようになっている。

30

40

【0041】

遅波板70は、同軸管60の下面に隣接して設けられている。遅波板70は、円板状の誘電体部材から形成されている。遅波板70は、同軸管60を伝送されたマイクロ波を透過し、アンテナ20へと導く。

【0042】

アンテナ20は、シャワープレート100を有する。シャワープレート100は、遅波板70の下面に隣接して設けられている。シャワープレート100は、遅波板70より径が大きな略円盤形状であり、アルミニウムや銅等の電気伝導率が高い導電体から形成されている。シャワープレート100は、処理容器10のプラズマ空間U側に露出し、露出した下面に表面波を伝搬させる。ここでは、シャワープレート100の金属面がプラズマ空

50

間U側に露出している。このように露出した下面に伝搬する表面波を以下、金属表面波という。

【0043】

シャワープレート100は、略円盤形状の上部プレート110と、同じく略円盤形状の下部プレート120を上下に重ねた構成となっている。上部プレート110には、その上面を貫通し、当該上部プレート110の径方向にガスを流通させるガス流路130が形成されている。ガス流路130には、第2のガスを供給する第2のガス供給源131が供給管132を介して接続されている。第2のガスとしては、原料ガスとしての例えばモノシランガス(SiH₄)などが用いられる。上部プレート110の下面であってサセプタ11に載置されたウェハWに対応する領域の全面には、ガス流路130に連通する複数のガス孔133が鉛直上方に延伸して設けられている。また、上部プレート110のガス孔133とは異なる位置には、マイクロ波を通す複数のスロット220が形成されている。

10

【0044】

下部プレート120には、その側面を貫通し、当該下部プレート120の径方向にガスを流通させるガス流路140が形成されている。ガス流路140には、第1のガスを供給する第1のガス供給源141が供給管142を介して接続されている。第1のガスとしては、プラズマ発生用の例えば窒素ガス、アルゴンガス、水素ガス、又はこれらのガスを混同したガスなどが用いられる。なお、ガス流路140は、当該ガス流路140を流通するガスとガス流路130を流通するガスがシャワープレート100内で混合することがないように、ガス流路140はガス流路130とは完全に独立して設けられている。

20

【0045】

下部プレート120における、上部プレート110のガス孔133に対応する位置には、当該下部プレート120を上下方向に貫通する貫通孔150がそれぞれ形成されている。また、下部プレート120における、上部プレート110のスロット220に対応する位置には、上部プレート110と同様に、スロット220が形成されている。

【0046】

下部プレート120の下面であってサセプタ11に載置されたウェハWに対応する領域の全面で且つ貫通孔150及びスロット220とは異なる位置には、ガス流路140に連通する複数のガス孔151が鉛直上方に延伸して設けられている。第1のガス供給源141からガス流路140に供給された第1のガスはこの複数のガス孔151を通過して、下部プレート120の下面から処理容器10のプラズマ空間Uに導入される。

30

【0047】

各貫通孔150の下端、即ち、下部プレート120の下面であって各貫通孔150に対応する位置には、アルミニウムやステンレス等に酸化皮膜やシリコンを溶射することにより形成された供給ノズル160がそれぞれ接続されている。各供給ノズル160は、例えば図4に示すように、貫通孔150の下端から鉛直下方に所定の長さLだけ突出して設けられている。これにより、第2のガス供給源131からガス流路130に供給された第2のガスはこの複数の供給ノズル160を通過して、第1のガスよりも所定の長さLだけ低い位置から処理容器10のプラズマ空間Uに導入される。

【0048】

なお、シャワープレート100のプラズマ側に露出した面、即ち、下部プレート120の下面及び供給ノズル160の表面は、溶射により例えばアルミナ(Al₂O₃)やイットリア(Y₂O₃)の被膜(図示せず)で覆われていてもよい。それにより、導体面がプラズマ空間側に露出しないようにしてもよい。

40

【0049】

上述した複数のスロット220は、ガスの供給経路であるガス流路130、140、複数のガス孔133、151及び貫通孔150とは異なる位置に設けられ、シャワープレート100の径方向に対して垂直な方向に貫通している。スロット220の一端は、遅波板70に隣接し、他端は、処理容器10内側に開口している。マイクロ波は、同軸管60を伝搬し、遅波板70を透過した後、複数のスロット220に通され処理容器10内に放射

50

される。なお、スロット 220 の内部を石英などの誘電体で満たす構造としてもよい。

【0050】

図5は、シャワープレート100の処理容器10側に露出した面、即ち下部プレート120を下面から見た状態を示した下面図である。図5に示すように、下部プレート120には複数の供給ノズル160と下部プレート120のガス孔151とが、例えば格子状のパターンで交互に配置されている。図5では、供給ノズル160とガス孔151との配置の区別を容易にするために、例えば供給ノズル160に対応する位置を二重丸で、ガス孔151に対応する位置を丸で表している。このように供給ノズル160とガス孔151を交互に配置することで、ウェハWの上面に例えば窒素ガスとモノシランを均等に供給することができる。なお、供給ノズル160とガス孔151の配置は本実施の形態に限定されるものではなく、供給ノズル160とガス孔151から供給されたガスがウェハWの上面に均等に供給されるように、供給ノズル160と下部プレート120のガス孔151とが概ね均等に配置されていれば任意に設定が可能である。ここで、供給ノズル160と下部プレート120のガス孔151とが概ね均等に配置されているとは、各ガス孔151と各供給ノズル160との間の距離が等しいことを意味するのではなく、例えば図5に示すように、供給ノズル160とガス孔151の設置数が概ね同数で、交互に配置されていることを意味している。したがって、図5に示す配置以外の一例としては、例えば図6に示すように、供給ノズル160とガス孔151を交互に同心円状に配置する場合などが挙げられる。

10

【0051】

20

スロット220は略環状に設けられ、供給ノズル160と貫通孔150は共にこのスロット220の外周側及び内周側に設けられている。スロット220は、完全なリング状には形成されておらず、例えば4つに区切られた扇状となっている。スロット220が区切られた部分には、ガス流路140がスロット220と連通しないように形成され、スロット220の内周側に設けられたガス孔151にガスを供給するようになっている。

【0052】

複数のスロット220は、アンテナ20の中心軸に対して、軸対称に形成されている。これにより、スロット220から処理容器10内に、より均一にマイクロ波を放射することができる。

【0053】

30

ガス孔151及び供給ノズル160の直径は、処理容器10内に放射されたマイクロ波が当該ガス孔151及び供給ノズル160の内部に入り込まないような大きさとなっている。本実施の形態では、例えば0.6mmである。また、スロット220とガス孔133、151及び貫通孔150とはシャワープレート100内にて完全に分離されている。これにより、ガス孔133、151や貫通孔150での異常放電を防止することができる。

【0054】

なお、遅波板70、上部プレート110及び下部プレート120の接触面は、それぞれ図示しないOリングによりシールされている。これにより、処理容器10やスロット220の内部を真空状態にすると共に、シャワープレート100内で第1のガスと第2のガスが混合することを避けることができる。

40

【0055】

本実施の形態にかかるプラズマ処理装置1は以上のように構成されており、本プラズマ処理装置1の動作を説明するにあたり、先ず本発明の原理について説明する。

【0056】

マイクロ波プラズマ処理においてプラズマ発生用のガスとして用いられる、例えば窒素ガスは、その結合エネルギーが約9.91eVである。その一方、プラズマ処理によりウェハWに成膜する際に原料ガスとして用いられる、例えばモノシラン(SiH₄)をSiH₃に分解するためには、約8.75eVのエネルギーが必要となる。そして、マイクロ波プラズマ処理においてアンテナ20へ供給するマイクロ波の出力は、成膜の際に必要なラジカルやプリカーサを生成するためのエネルギーを基準として決定される。ここで

50

、金属表面波を用いたマイクロ波プラズマ処理（特にエバネッセント波を応用した表面波によるプラズマ処理）においては、通常、例えば図1に示すようなアンテナ20の下面近傍、例えばアンテナ下面から概ね5mm以内の領域Xは、領域Xよりも下方の領域と比較して電子温度が高くなる。

【0057】

そのため、従来のように、シャワープレート表面の同じ面からプラズマ発生用のガスとして窒素ガスと、原料ガスとしてモノシランガスを供給すると、窒素ガスは領域Xで分解されて窒素ラジカルとなるが、領域Xより下方の電子温度が低い領域ではエネルギーが十分でないため分解されない。その一方、モノシランガスは、領域Xよりも下方においてもSiH₃に分解されるが、電子温度が高くなる領域Xでも分解が盛んにおこる。そのため、この領域XでSiH₃が過剰に生成されてシリコンが成膜され、シャワープレートのガス孔に堆積してしまっていた。

10

【0058】

反応生成と気相反応による堆積物を抑制するためにはアンテナ20に供給するマイクロ波の出力を下げ、領域Xにおける電子温度を低下させればよいが、上述のように、領域Xにおいてはプラズマ発生用ガスを分解するために所定の電子温度が必要となるため、マイクロ波の出力を下げるにも限界がある。

【0059】

そこで、本発明者らは、ガス孔へ堆積する不要な反応生成と気相反応による堆積物を抑制するために、シャワープレートから供給される原料ガスを、電子温度が高い領域Xを通過させることなく処理容器10内に導入する方法について鋭意検討した。ただし、従来のように処理容器10の側壁から処理容器10内に原料ガスを供給すると、処理容器10内のガスの流れを制御することが困難となり、均一なプラズマが得られない。即ち、シャワープレート100からウェハWへ向かう鉛直下方のガス流れは維持する必要がある。そこで本発明者らは、シャワープレート100の内部でプラズマ発生用のガスと原料ガスとが混合しないようにそれぞれ個別にガス流路130、140を設け、さらに原料ガスの流路に領域Xよりも長い長さLを有するノズルを接続すれば、原料ガスを、領域Xを通過させることなく処理容器10内に導入できることに想到した。かかる場合、原料ガスが領域Xで過剰に分解されることを抑制できるので、原料ガスによるプリカーサの生成を抑え、ガス孔が閉塞することを防止できる。これが本発明の原理、即ち、シャワープレート100を上部プレート110と下部プレート120に分けて構成し、さらに下部プレート120に供給ノズル160を設ける理由である。

20

30

【0060】

なお、図4では、上部プレート110のガス流路130に第2のガス供給源131を接続し、下部プレート120に貫通孔150及び供給ノズル160を設けたが、シャワープレート100の構成は本実施の形態に限定されるものではない。特に、上部プレート110のガス流路130と下部プレート120のガス流路140のどちらに第2のガス供給源131を接続するかについては任意に設定が可能である。例えば下部プレート120のガス流路140に第2のガス供給源131を接続する場合、供給ノズル160をガス孔151に接続し、貫通孔150には供給ノズル160を接続しないようにしてもよい。かかる場合においても、貫通孔150からは処理容器10内に第1のガスであるプラズマ発生用ガスが直接供給される一方、原料ガスである第2のガスは、供給ノズル160を介して下部プレート120の下面より所定の長さLだけ下方の位置から処理容器10内に直接供給される。

40

【0061】

なお、下部プレート120の下面近傍は表面波プラズマにより高温になるため、ガス流路140内を流通するガスもこのプラズマの熱により温度上昇し、ガスそのものの内部エネルギーも高い状態となり、表面波プラズマにより分解しやすくなる。したがって、分解しにくいガス、即ちこの場合にはプラズマ発生用のガスをガス流路140内に流通させれば、表面波プラズマによる分解を促進できる。したがって、原料ガスを供給する第2のガ

50

ス供給源 131 は、上部プレート 110 のガス流路 130 に接続し、プラズマ発生用のガスを供給する第 1 のガス供給源 141 は下部プレート 120 のガス流路 140 に接続することが好ましい。

【0062】

一方、下部プレート 120 に突起物である供給ノズル 160 を設けることにより、当該供給ノズル 160 にも表面波が伝搬して共振を起こし、プラズマ空間 U における均一なプラズマの生成が阻害される可能性があるため、供給ノズル 160 のような構造が採用されることはなかった。しかし、供給ノズル 160 の長さ L、即ち下部プレート 120 の下面から供給ノズル 160 の下端までの距離を処理容器 10 内に導入するマイクロ波の波長の $1/16 \sim 3/16$ 程度、より好ましくは $1/8$ 程度とすることで、供給ノズル 160 での表面波の共振を抑制し、処理容器 10 内に安定的にプラズマを生成することができる。なお、表面波により高電子温度となる領域 X はシャワープレート 100 の下面から 5 mm 程度の領域であるため、供給ノズル 160 の長さ L を波長の $1/16 \sim 3/16$ 程度の長さとするれば、供給ノズル 160 の下端は領域 X よりも十分に下方となる。本実施の形態では、波長が 348.6 mm である 860 MHz のマイクロ波を用いるので、供給ノズル 160 の長さは 43.6 mm 程度、概ね 21.8 ~ 65.4 mm の範囲に設定されている。

10

【0063】

本実施の形態にかかるプラズマ処理装置 1 は以上のような知見に基づくものである。次に、プラズマ処理装置 1 を用いて行われる処理について、ウェハ W に窒化シリコン膜を形成する場合を例に説明する。

20

【0064】

まず、ウェハ W を処理容器 10 内に搬入し、サセプタ 11 上に載置する。そして、第 1 のガス供給源 141 から、プラズマ発生用のガスとして窒素ガス、アルゴンガス及び水素ガスを混合したガスをシャワープレート 100 の下部プレート 120 を介して処理容器 10 内に導入する。次いで、マイクロ波がマイクロ波出力部 40 から出力され、マイクロ波伝送機構 30 及び遅波板 70、スロット 220 を通って処理容器 10 内にマイクロ波が導入される。これにより、アンテナ 20 表面に形成された金属表面波により表面波プラズマが生成され、窒素ラジカルが生成される。それと共に、第 2 のガス供給源 131 から、原料ガスとしてモノシランガスが供給ノズル 160 を介して処理容器 10 内に導入される。

【0065】

処理容器 10 内に導入されたモノシランガスは、プラズマにより励起されて SiH_3 に分解される。この際、モノシランガスは電子温度が高いアンテナ 20 下面の領域 X を通過することなく処理容器 10 のプラズマ空間 U に導入されるので、過剰に分解することがない。その結果、過剰な SiH_3 による反応生成と気相反応が抑えられる。

30

【0066】

そして、窒素ラジカル及び SiH_3 は、シャワープレート 100 からウェハ W に向かう鉛直下方のガス流れに随伴してウェハ W の表面に到達し、ウェハ W 上面に窒化シリコンとして堆積する。これにより、ウェハ W の上面に窒化シリコン膜が形成される。

【0067】

以上の実施の形態によれば、シャワープレート 100 の下部プレート 120 下面から鉛直下方に所定の長さ L で突出する供給ノズル 160 を介して処理容器 10 内に原料ガスとして例えばモノシランガスを供給するので、モノシランガスがシャワープレート 100 近傍の電子温度が高い領域 X を通過することがない。したがって、モノシランガスが表面波プラズマにより過剰に分解されることを避けることができる。その結果、シャワープレート 100 を用いてウェハ W にプラズマ処理を施すにあたり、シャワープレート 100 のガス孔にシリコンが成膜することを抑制することができる。

40

【0068】

また、供給ノズル 160 とガス孔 151 とが均等に配置されているので、ウェハ W の表面における、例えば窒素ラジカルの密度と SiH_3 の密度を均一にすることができる。その結果、ウェハ W の表面に均一な膜厚で窒化シリコン膜を堆積させることができる。

50

【 0 0 6 9 】

さらには、供給ノズル160の長さLが、マイクロ波出力部40から出力されるマイクロ波の波長の概ね1/8に設定されているので、処理容器10に突出する供給ノズル160においてマイクロ波の共振条件を外すことができる。その結果、供給ノズル160がアンテナとして機能してプラズマの生成が阻害されるようなことがない。したがって、本実施の形態にかかるプラズマ処理装置1によれば、安定したプラズマ処理を行うことができる。また、このような構造により、窒素ラジカルの供給量（生成量）でウェハW表面への窒化シリコン膜の形成を積極的に制御することが可能になる。

【 0 0 7 0 】

以上の実施の形態においては、下部プレート120は円盤状に形成されていたが、例えば図7に示すように、下部プレート120の下面におけるノズル160が設けられた領域に、下方に所定の長さDだけ突出する垂下部250を設けてもよい。かかる場合、垂下部250は、例えば図7に示すように、ノズル160を避けて設けられる。換言すれば、垂下部250のノズル160に対応する位置は、上方に窪んでいる。なお、図7では簡略化のためにガス孔151の記載は省略しているが、ガス孔151は垂下部250の下面に形成される。これにより、スロット220（石英リング）より放射されるマイクロ波のいくらかは反射され、ノズル160へ伝播するマイクロ波を弱くすることができる。一方、この形状では、ノズル160へ伝播するマイクロ波を弱くできるが、ノズル160の根元、即ち垂下部250の下面から供給される窒素ガスやアルゴンガスといったプラズマ発生用ガスのラジカル生成も弱められてしまう。これを回避するために、例えば、垂下部250の下面に、図7に示すような溝250aを設けても良い。溝250aを設けることにより、溝250aの中で窒素ガス、アルゴンガスといったプラズマ発生用ガスがプラズマにより加熱され、ラジカル生成を促進することができる。なお、溝250aの形状の一例としては、例えば図7に示すように、各供給ノズル160の周囲を囲むように設けられた、例えば格子状のパターンなどが考えられる。

【 0 0 7 1 】

また、これとは別に、図8に示すように、ノズル160の外周の直径をノズル160の長さ方向で2段階以上に分割しても良い。具体的には、例えば図8に示すように、ノズル160の根元部分、換言すればノズル160における下部プレート120側の端部から所定の長さを、図7に示すノズル160よりも径の大きい拡張部160aとし、この拡張部160aからノズル160の先端までを、拡張部160aよりも直径の小さな先端部160bとしてもよい。これにより、拡張部160aと先端部160bとの境界で直径が変化することで階段状になっているノズル160の角部でマイクロ波が反射され、ノズル160へ伝播するマイクロ波が大幅に弱められる。

【 0 0 7 2 】

なお、垂下部250には必ずしも溝250aを設ける必要はない。また、例えば図7においては、ノズル160を避けて垂下部250を形成していたが、例えば図9に示すように、垂下部250の下端にノズル260を直接設けるようにしてもよい。かかる場合、ノズル260の長さは、図7に示す場合のノズル160の長さLと同等である。換言すれば、垂下部250の下端からノズル260の先端までの長さは、垂下部250の有無やノズル160、260の配置によらずLとなる。このように、垂下部250に直接ノズル260を設けた場合も、ノズル260へ伝播するマイクロ波を大幅に弱めることができる。また、本発明者らによれば、垂下部250に溝250aを設けない場合であっても、ノズル260の根元で窒素ガスやアルゴンガスといったプラズマ発生用ガスのラジカル生成が弱められることを抑制できることが確認されている。なお、図8および図9においても簡略化のためにガス孔151は図示していない。また、図8において、図7に記載された溝250aと同様の溝を設けてもよい。かかる場合においても、溝250aの効果により窒素ガス、アルゴンガスといったプラズマ発生用ガスのラジカル生成を促進することができる。

【 0 0 7 3 】

また一般に、アンテナに供給される電力の周波数が高くなると、表皮効果によりアンテナのプラズマ側の面に、端部側から中心側に向かう高周波電流が流れる。その結果、アンテナ下面における電界強度分布は、スロット 220 で囲まれた中央部で高く、外周端部に向かうほど低下したものとなる。そのため、本実施の形態にかかるアンテナ 20 においても、スロット 220 で囲まれた中央に位置する供給ノズル 160 の近傍で電界強度が高くなるのが本発明者らにより確認された。そこで本発明者らが鋭意調査したところ、スロット 220 で囲まれた中央部の供給ノズル 160 を取り除くことで、中央部の供給ノズル 160 近傍で電界強度が高くなることを抑制できることが確認された。したがって、下部プレート 120 におけるスロット 220 で囲まれた中央部には供給ノズル 160 を設けないようにしてもよい。なお、スロット 220 で囲まれた中央部とは、下部プレート 120 においてスロット 220 で囲まれた領域の中心一点を意味するのではなく、例えばスロット 220 で囲まれた領域の中心から概ね半径 40 mm 以内の領域を意味している。

10

【0074】

以上の実施の形態では、上部プレート 110 のガス流路 130 及び下部プレート 120 のガス流路 140 にそれぞれ一つの供給管 132、142 を介して第 2 のガス供給源 131、第 1 のガス供給源 141 を接続したが、例えばガス流路 130、ガス流路 140 をそれぞれ独立した環状で同心円状の流路とし、それぞれのガス流路に複数の供給管 132 及び供給管 142 を複数設け、各流路に供給するガスの流量を制御するようにしてもよい。そうすることで、下部プレート 120 の各領域ごとにガスの供給量を制御することが可能となり、例えば電界強度分布に対応して原料ガスやプラズマ発生用ガスの供給量を制御し

20

【0075】

特に、従来のように供給ノズル 160 を有さないシャワープレートを用いて、原料ガスとしてモノシランガスを処理容器 10 内に供給する場合、シャワープレート 100 下面で原料ガスが過剰に分解されるために、SiH₃の生成量を制御することが困難であったが、本発明では供給ノズル 160 を用いてモノシランガスを供給して過剰な SiH₃の生成を抑えることができるので、モノシランガスの供給量を制御することで容易に SiH₃の生成量を調整できる。かかる場合、さらに供給管 132 及び供給管 142 を複数設けて下部プレート 120 の所定の領域ごとにガスの供給量を制御することで、各領域ごとにより厳密に窒素ラジカルと SiH₃の生成量を調整できるので、ウェハ W に対してより均一な

30

【0076】

また、以上の実施の形態では、シャワープレート 100 は、上部プレート 110 と下部プレート 120 とにより構成されていたが、第 2 のガスのガス流路 130 および第 1 のガスのガス流路 140 とが独立して形成され、シャワープレート 100 の内部でガスが混ざらない構成となっていれば、シャワープレート 100 をどのように構成するかについては本実施の形態に限定されるものではなく、任意に設定が可能である。

【0077】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

40

【符号の説明】

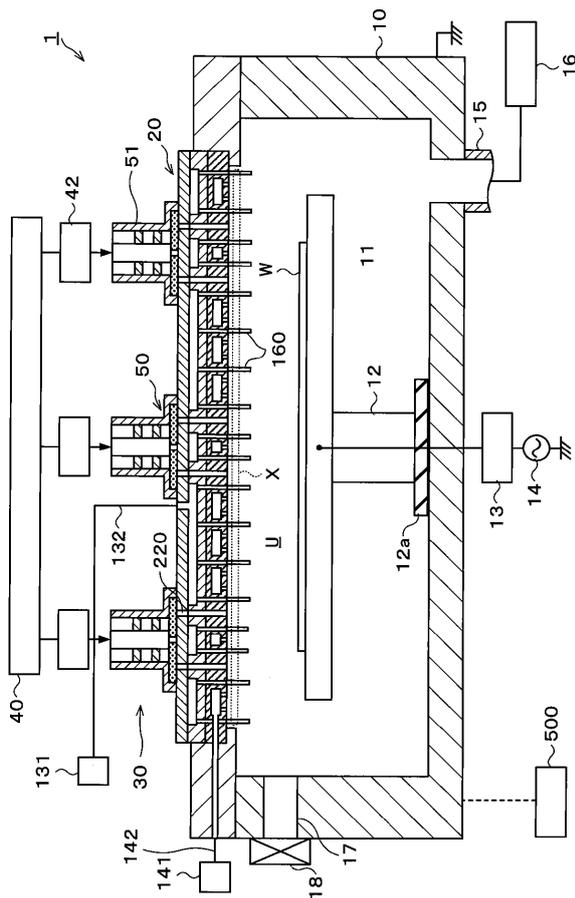
【0078】

- 1 プラズマ処理装置
- 10 処理容器
- 11 サセプタ
- 12 支持部材
- 13 整合器

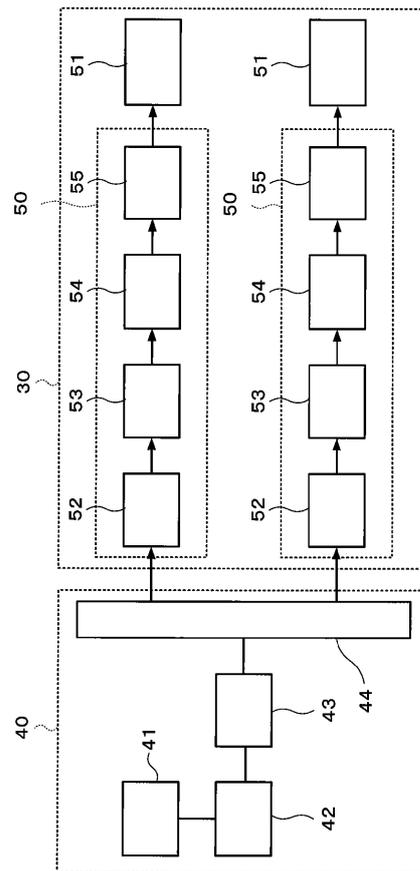
50

- 14 高周波電源
- 30 マイクロ波伝送機構
- 40 マイクロ波出力部
- 50 アンテナモジュール
- 100 シャワープレート
- 110 上部プレート
- 120 下部プレート
- 130 ガス流路
- 140 ガス流路
- 160 供給ノズル
- 220 スロット
- 500 制御装置
- U プラズマ空間
- W ウェハ

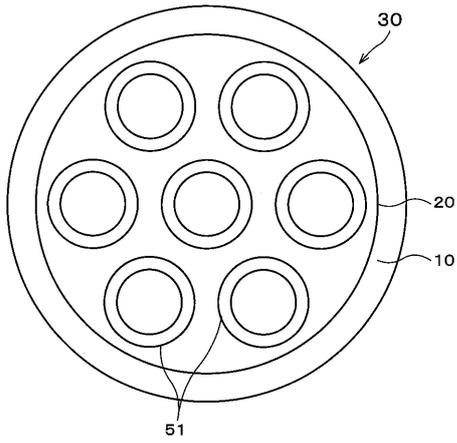
【図1】



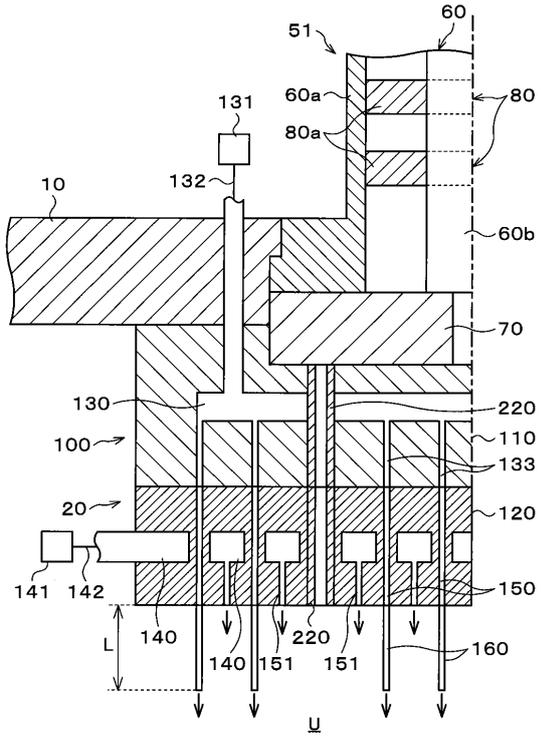
【図2】



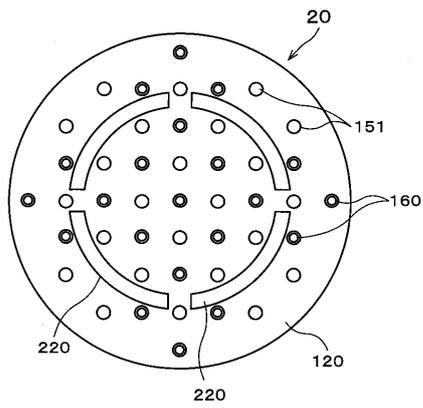
【図3】



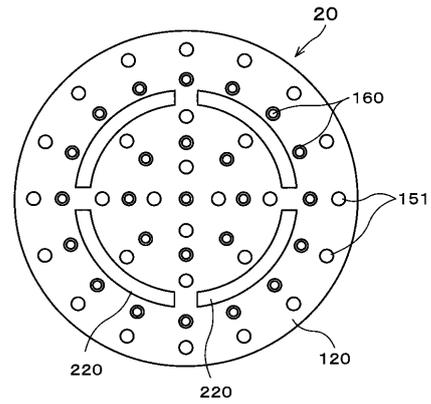
【図4】



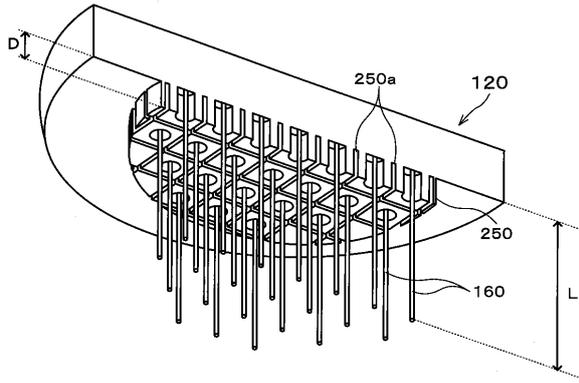
【図5】



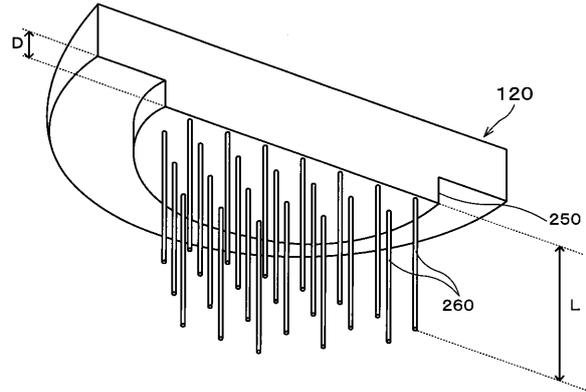
【図6】



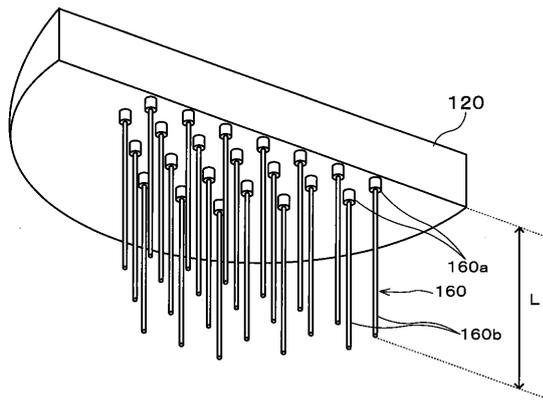
【 7 】



【 9 】



【 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 池田 太郎

東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内

(72)発明者 藤野 豊

東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内

審査官 河合 俊英

(56)参考文献 特開2009-194173(JP,A)

特開2007-208208(JP,A)

特開2008-091489(JP,A)

特開2001-135627(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205

C23C 16/455

H01L 21/31

H05H 1/46